Aus der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Universität Bonn.
Direktor: Professor Dr. med. Proell

Untersuchungen menschlicher und tierischer Zähne mit Hilfe des Ritzverfahrens zur Feststellung ihrer Härte und ihres strukturellen Aufbaues.

(Mit 14 Abbildungen und 10 Tabellen)

Inaugural - Dissertation

zur
Erlangung des zahnärztlichen Doktorgrades
der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität
zu Bonn.

Vorgelegt am 24. Juni 1938
von

Johanna Born

aus Bonn.

BONN 1939

Druckerei J. Duckwitz, Bonn, Maargasse 4

Gedruckt mit Genehmigung

der medizinischen Fakultät der Universität Bonn.

Referent: Prof. Dr. Proell.

Korreferent: Prof. Dr. Chudoba.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Meinen lieben Eltern!

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546406_0051

Untersuchungen menschlicher und tierischer Zähne mit Hilfe des Ritzverfahrens zur Feststellung ihrer Härte u. ihres strukturellen Aufbaues.

Vorliegende Untersuchungen beschäftigen sich mit der Eigenschaft des Zahnes, die man allgemein als seine Härte bezeichnet. Obwohl das Wort „Härte" im täglichen Leben viel angewandt wird, ist es doch schwer, eine befriedigende Definition dieses Begriffes zu geben. In der Mineralogie versteht man unter Härte den Widerstand, den ein Körper dem Trennen seiner Moleküle durch Einwirkungen äußerer Kräfte entgegensetzt. Härte ist also eine Äußerung der Kohäsion.

Rössle gibt folgende Erklärung über Festigkeit und Härte: „Während man unter Festigkeit den Widerstand zu bezeichnen pflegt, den ein Material der Trennung seiner einzelnen Teile entgegensetzt, und während als das Maß für die Festigkeit diejenige Kraft bestimmt wird, welche erforderlich ist, um jene Trennung zu bewirken oder, anders ausgedrückt, das Zusammenhalten der Teile, die Kohäsion zu überwinden, wird unter Härte derjenige Widerstand verstanden, den ein Körper dem Eindringen eines anderen in seine Oberfläche beim Erleiden bleibender Formänderungen entgegensetzt. Allgemein wird die Härte eines Stoffes durch den mittleren spezifischen Eindringungswiderstand in Kilogrammen pro Quadratmillimeter gemessen. Es sei aber nicht verschwiegen, daß die Begriffsbestimmungen über Härte noch auseinandergehen und auch hinsichtlich der Messungsart noch keine Einigung erzielt ist."

„Hertz erklärt Härte als die Festigkeit, welche ein Körper einer Formänderung entgegensetzt, die der Berührung mit kreisrunder Druckfläche entspricht ..... Man wird hiernach gut tun, bei Anwendung des Begriffes Härte stets eine bestimmte Bezeichnungsweise zu wählen, die das anzuwendende Härteprüfverfahren kennzeichnet, z. B. Ritzhärte, Brinellhärte, u. a. ...." (Memmler).

Die Mineralogen beurteilen die Härte nach dem Widerstand, den ein Körper dem Ritzen seiner Oberfläche entgegensetzt. Härte wird demnach der Ritzbarkeit gleichgesetzt.

Die ältesten Härteuntersuchungen bestanden zunächst in einem gegenseitigen Ritzen von Hand mit einigen Probekörpern. Diese

Methode wurde von Mohs weiter ausgebaut. Er stellte eine zehngliedrige Skala auf, welche so beschaffen ist, daß der in der Skala nachfolgende Körper den vorangehenden zu ritzen vermag.

1. Talk
2. Gips
3. Kalkspat
4. Flußspat
5. Apatit
6. Feldspat
7. Quarz
8. Topas
9. Korund
10. Diamant

Heute stehen zur Härteprüfung eines Stoffes eine ganze Anzahl von Verfahren zur Verfügung. Man hat die bisher angewandten Methoden in folgende Gruppen eingeordnet.

1. Der eindringende Körper verschiebt sich gegen den zu prüfenden Körper, ritzt ihn. (Dynamische Methode) Ritzhärte.
2. Der eindringende Körper ändert seinen Ort nicht auf der zu prüfenden Körperfläche. (Statische Methode) Brinellhärte.
3. Die Härte wird aus den Festigkeitseigenschaften abgeleitet, z. B. aus der Scherfestigkeit.

Mit Hilfe dieser Methoden hat man nun des öfteren schon versucht, die Härte menschlicher und tierischer Zähne zu untersuchen. Drei Arbeiten sind bisher über Härtebestimmungen an Zähnen von grundlegender Bedeutung. Es sind die Arbeiten von Wetzel und seinem Schüler Burg, von Proell und seinen Schülern Schubert und Richter, während Karlström auf den Erfahrungen dieser beiden Schulen aufbaute und ihre Ergebnisse im Wesentlichen bestätigt hat.

Die Resultate von Proell, Schubert und Richter bilden die Hauptgrundlage zu meiner Arbeit.

Burg hat zur Untersuchung der Zahnhartsubstanzen die Ritzmethode angewandt. Er stellte Längsschliffe her und prüfte hauptsächlich das Dentin. Die Ergebnisse seiner Untersuchungen sind:

Die Härte des Dentins nimmt mit steigendem Alter zu, während das Geschlecht keinen Einfluß ausübt. Am härtesten ist der Schmelz, dann folgen das transparente Wurzeldentin und das Dentin. Am weichesten ist das Zement.

In Schmelznähe erhöht sich die Dentinhärte gegenüber dem Mitteldentin. Das transparente Dentin unter ausgeheilter chronischer

Karies ist härter als das Normaldentin, während das Ersatzdentin weicher ist.

Proell-Schubert untersuchten mit Hilfe des Sklerometers den Schmelz frisch extrahierter Zähne, die nach der Extraktion in 0,9%iger Kochsalzlösung aufbewahrt wurden. Nach Proell nimmt schon durch oberflächliches Austrocknen die Härte zu. Sie kamen zu folgenden Ergebnissen:

Mit steigendem Alter werden die Zähne härter.

Ein Unterschied oder eine Bevorzugung in der Härte der Zähne eines Geschlechtes besteht nicht.

Bei Paradentose ist eine Erhärtung des Schmelzes zu erkennen.

Bei fast allen Zähnen nimmt die Härte des Schmelzes nach der Oberfläche stets zu. Ob dieses Härterwerden nun auf eine erhöhte Inanspruchnahme der äußeren Schmelzpartien zurückzuführen ist, oder ob die Diffusion von Mineralien in den Schmelz vom Speichel her dabei beteiligt ist, sei nach Proell-Schubert dahingestellt.

Während Burg Härteunterschiede im Schmelz feststellte, die durch den Verlauf der Prismen bedingt sind, ergab sich bei Proell-Schubert kein wesentlicher Unterschied in der Ritzhärte.

An den Randpartien wechselte die Härte, was nicht an einer wechselnden Struktur des Schmelzes liegt, sondern auf Mineralisationsvorgänge schließen läßt. Bei Milchzähnen ist der Schmelz weicher als bei bleibenden Zähnen.

In Verfolg der Proell'schen Untersuchungen wurde von Richter ein kritischer Vergleich zwischen der Ritzhärte und der Kugeldruckhärte ausgeführt. Er benutzte zu seinen Untersuchungen teils den von Proell-Schubert gebrauchten Apparat, teils den Brinell'schen Härteprüfer. Zur Prüfung gelangten Metalle, Amalgame, Zähne und Knochen. Auf Grund der Richter'schen Untersuchung eignet sich am besten:

1. Für Stoffe mit gleichmäßiger fester Beschaffenheit, z. B. Metalle, das Ritzverfahren.
2. Für Stoffe mit stark inhomogenem Bau, z. B. Knochen und Zähne, die Kugeldruckprobe.

Richter will durch seine Härteprüfungen zeigen, ob die Härte des Zahnes von exogenen und endogenen Faktoren abhängt. Die Ergebnisse seiner Untersuchungen sind folgende:

Er bewies, daß durch Austrocknen die Zähne härter wurden. Zwei frisch extrahierte Zähne ergaben im Schmelz Durchmesser von 137 bis 156 Teilstrichen, im Dentin von 251 bis 339 Teilstrichen. Danach wurden die Zähne in einen Exsikkator gelegt, der mit Calciumchlorid beschickt war. Nach 6 Tagen war bereits der höchste Grad der Austrocknung erreicht. Die Zahlen sanken für Schmelz auf 126 bis 137, für Dentin auf 229 bis 302 Teilstriche herab. Aus dem Kleinerwerden der Eindrücke schließt Richter, daß die Zahnsubstanzen härter geworden sind. Ferner zeigte sich, daß die Austrocknung des Dentins in Nähe der Pulpa größer ist als an anderen Stellen.

Weiter weisen transparente Zonen im Dentin eine größere Härte auf als normales Dentin. Es folgen dann das Dentin unter dem Schmelz, danach an den Seitenwänden der Wurzeln. Die niedrigsten Härtegrade zeigt schließlich das Dentin um die Pulpa herum und in der Wurzelspitze.

Das Dentin beider Dentitionen zeigt keinen wesentlichen Härteunterschied, während der Schmelz von Milchzähnen sehr viel weicher ist, als der Schmelz der bleibenden Zähne.

Auch der Schmelz paradentotischer Zähne ist viel härter als der gesunde Schmelz. Er weist wohl die größten Härtegrade auf. Beim Dentin sind keine Härteunterschiede festzustellen.

Schmelz und Dentin einer 34jährigen graviden Frau im siebten Monat zeigen dieselbe Härte wie andere Zähne.

Richter benutzte weiterhin Zähne von Hunden, die von Proell mit Thallium vorbehandelt waren. Die Milchzähne der gesunden Hunde zeigten dieselbe Härte wie die der kranken Hunde, während die bleibenden Zähne der mit Thallium gespritzten Hunde bedeutend weicher waren als bei den gesunden.

In einem anderen Tierversuch wurde nachgewiesen, daß der dauernd gekürzte untere Schneidezahn eines Kaninchens durch sein schnelleres Wachstum und seine Afunktion nach jedesmaligem Abschneiden weicher wurde. Nach etwa vier Monaten war das Maximum im Weicherwerden erreicht.

Im Schmelz zeigen die Ritze parallel zu den Prismen und senkrecht zu den Prismen immer dieselbe Breite. Die Erklärung hierfür

findet Richter im Verlauf der Prismen, die teils spiralig, teils in der von Schreger charakterisierten Weise verlaufen.

Im Dentin sind die Ritze bald tiefer, bald flacher. Dies scheint entweder in der Anordnung der Dentinkanälchen zu liegen, oder in den Dichtungen und Dünnungen des Dentins, wie sie Gross im Polarisationsbild beschrieben hat.

Karlström wandte seine Aufmerksamkeit besonders der Vitalität des Schmelzes zu. Von frisch extrahierten Zähnen, von Milchzähnen, von noch nicht durchgebrochenen bleibenden Zähnen und von Tierzähnen stellte er in verschiedenen Höhen Schliffe her und untersuchte mit Hilfe des Herbert'schen Pendelhärteprüfers Härte und spezifisches Gewicht des Schmelzes mit dem Ergebnis, daß die Härte des Schmelzes nicht überall konstant ist. In allen Fällen hat Karlström eine Abnahme der Härte von der Außenfläche zur Schmelzdentingrenze, von der Schneidekante zum Zahnhals festgestellt. Der Schmelz noch nicht durchgebrochener, aber voll ausgebildeter Zähne hat an der Oberfläche dieselbe Härte wie der Schmelz der bleibenden Zähne. Erst in tieferen Schichten ist der Schmelz weicher.

Bei schlecht ernährten graviden Frauen ist der Schmelz in tieferen Schichten weicher als die entsprechende Zone eines normalen Zahnes, während bei gut ernährten graviden Frauen kein Unterschied besteht.

Der Schmelz der Tierzähne ist in allen Fällen weicher als der menschliche Schmelz.

Die bisherigen Untersuchungen erstreckten sich auf frisch extrahierte Zähne. Zieger untersuchte die Zähne von Toten, die 24 Jahre und länger in der Erde gelegen haben mit der Brinell'schen Härte. Er fand, daß mit steigendem Lebensalter bei Leichenzähnen wie bei frisch extrahierten Zähnen eine Härtezunahme vorhanden ist. Es ist nicht gleichgültig, in welcher Richtung die Prüfung erfolgt. In der Längs- und Querrichtung des Zahnes bestehen Härteunterschiede.

Die Härte ist von der Zahl und dem Verkalkungsgrad der Dentinkanälchen abhängig. Die Zähne, die 80 Jahre und länger in der Erde gelegen haben, zeigen ein Weicherwerden, während die Zähne von Wasserleichen härter sind als frisch extrahierte Zähne.

Bestimmungen des Leichenalters lassen sich durch Härtebestimmungen nicht vornehmen.

Meine Aufgabe ist es nun,

1. die Härteschwankungen der Zahnhartsubstanzen verschiedener Lebewesen, die unter verschiedenen Lebensbedingungen standen, zu untersuchen und zu vergleichen;
2. mit Hilfe des Ritzverfahrens Aufschlüsse über den strukturellen Aufbau der Zahnhartsubstanzen zu gewinnen.

Da der Zahn als Glied eines Organismus in den Gesamtstoffwechsel des Körpers mit einbezogen ist, gilt es, die konstitutionellen Bedingungen, d. h. die Abhängigkeit der Härte des Dentins und Schmelzes von Alter, Geschlecht, Krankheiten, Nahrung und Umwelt ausfindig zu machen. Von den Prüfverfahren, die mir zur Verfügung standen, wählte ich nach den Erfahrungen von Proell-Schubert das Ritzverfahren nach Martens. Dankenswerterweise stellte mir Herr Professor Dr. Chudoba, Direktor des Mineralogischen Institutes der Universität Bonn, ein Sklerometer nach Martens zur Verfügung, mit dem ich die Untersuchungen begonnen habe. Später überließ uns Herr Professor Dr. Wustrow, Greifswald die von Proell-Schubert benutzte Apparatur, mit der ich meine Versuche dann ausgeführt habe.

Bevor ich nun auf meine Untersuchungen eingehe, möchte ich in folgendem eine kurze Beschreibung des von Proell-Schubert benutzten Sklerometers geben. Es handelt sich dabei um ein Sklerometer der Firma Dr. Karl Leiß, Berlin, das nach dem Martens'schen Prinzip gebaut ist, von Proell aber für die speziellen Zahnuntersuchungen entsprechend und wesentlich abgeändert wurde. (Abb. 1.)

Auf dem Untergestell, einem Dreifuß, auf dem eine Platte ruht, befinden sich ein Wagebalken und ein auf Schienen laufender Wagen zur Aufnahme des Objekts. Der Wagen läuft auf 3 Rädern. An ihm befindet sich eine runde Platte, die den Objekttisch trägt. Dieser kann mit Hilfe einer Meßtrommel nach zwei Seiten verschoben werden. Die Einteilung auf der Trommel ist so getroffen, daß bei einer ganzen Umdrehung derselben der Tisch um 1 mm nach links oder rechts geschoben werden kann. Außerdem ist der Objekttisch um 360° drehbar. An dem Ende des Wagebalkens, das dem Wagen zugekehrt ist, ist der Diamant befestigt, der mit einem Ge-

wichtsbehälter fest verbunden ist. Die kegelförmige Diamantspitze hatte zu Beginn meiner Untersuchungen einen Öffnungswinkel von ungefähr 90°, während der Winkel nach Beendigung der Arbeit infolge Abnutzung 120° betrug (Abb. 2 zeigt die Diamantspitze nach Abschluß meiner Untersuchungen.) Gewichte, die über eine Drehscheibe laufen, ziehen den Wagen unter dem Diamanten her. Mit Hilfe von Schrauben, die am anderen Ende des Wagebalkens befestigt sind, kann man den Balken im indifferenten Gleichgewicht halten, worauf zu Beginn einer jeden Härteprüfung unbedingt zu achten ist. Eine Stellschraube ermöglicht es, den ganzen Wagebalken hoch und niedrig einzustellen. Ich habe den Wagen nicht mit Gewichten bewegt, sondern mit der Hand, was besonders am Anfang große Schwierigkeiten bereitet, da man mit der Hand nicht die genügende Sicherheit hat. Doch werden auch diese Schwierigkeiten mit der Zeit durch Übung überwunden.

Als Objektträger dienten mir Platten aus Kupferblech, auf denen die Zähne mit Klebewachs befestigt wurden. Mittels einer Presse wurden die Zähne in genau horizontaler Lage auf die Unterlage gedrückt. Die Zähne wurden direkt nach der Extraktion in 0,9%iger Kochsalzlösung aufbewahrt. Um einen dichten Luftabschluß zu erhalten und das Bakterienwachstum möglichst einzuschränken, wurden einige Tropfen Xylol zugesetzt. Es empfiehlt sich, die Zähne möglichst noch an demselben Tage zu verarbeiten. Während Austrocknen ein Härterwerden des Dentins zur Folge hat, wird durch langes Liegen in physiologischer Kochsalzlösung ein Quellen der Substanz verursacht, was eine Herabsetzung der Härte zur Folge hat. Noch besser ist es, die Zähne, wenn sie bald verarbeitet werden sollen, in einem Insiccator aufzubewahren. Auch während der Verarbeitung und der Prüfung muß der Zahn, um ihn vor Austrocknen zu schützen, stets feucht gehalten werden.

Von den zu prüfenden Zähnen wurden etwa 1 mm breite Parallelschliffe angefertigt. Das Schleifen erfolgte auf Schleifsteinen, die immer feinkörniger gewählt wurden.

Um eine spiegelglatte Oberfläche ohne jede Schramme zu erzielen, wurden die Zähne zuletzt mit Tonerde der Firma Dujardin, Düsseldorf, auf einem Lederlappen poliert. Die auf diese Weise vorbereiteten Zähne wurden nun verarbeitet. Es lag nicht in meiner

Absicht, einen absoluten Härtewert für den menschlichen oder tierischen Zahn aufzustellen oder eine Härtezahl zu finden, die den Zahn mit irgend welchen technischen Stoffen der Industrie vergleicht, sondern es kam mir darauf an, die Zähne unter sich zu vergleichen und auf diese Weise Untersuchungen über die verschiedensten Zahnerkrankungen anzustellen und mit Stoffwechselstörungen des Gesamtorganismus in Beziehung zu bringen. Man nimmt allgemein an, daß z. B. Karies von der Beschaffenheit der harten Zahnsubstanzen abhängig ist.

Beim Ritzen können zwei verschiedene Methoden, die beide zu demselben Ziel führen, angewandt werden. Nach der einen Methode wird eine konstante Belastung gewählt. Von der Qualität des zu prüfenden Materials hängt es nun ab, ob der Ritz breiter oder schmäler wird. Aus der Differenz der gefundenen Werte kann man dann leicht die Härte berechnen. Diese Methode hat jedoch große Ungenauigkeiten zur Folge, indem nach einer gewissen Anzahl von Ritzen, besonders bei weicheren Materialien, ein Stillstand der Eindrucktiefen der Ritzfurchen erfolgt. Dies kommt nach Proell daher, daß die an sich sehr kleine Diamantspitze in das betreffende Objekt eingedrückt wird und nun über den zugeschliffenen Rand hinaus die Objekte durchzieht, d. h. also, daß die Diamantspitze nicht weiter in das Material eindringen kann und man immer die gleichen Werte erhält, wenn man selbst noch oft gar nicht die richtige Ritzbreite gefunden hat.

Die zweite Arbeitsmethode, nach der auch meine Versuche gemacht wurden, ist die Ritzhärteprüfung nach Martens mit wechselnden Gewichten. Es wurden mehrere Ritze unter verschiedener Belastung gezogen und diejenige Belastung herausgegriffen, die einen Ritz von 10 μ = 1,10—5 cm Breite erzeugte. Die Ergebnisse dieser Methode sind gut und brauchbar. Durch Gegenüberstellung der Belastungen, die Ritzfurchen von 10 μ Breite erzeugen, kann man Rückschlüsse auf die Härte der verschiedenen Materialien ziehen.

Durch das Ritzen wird auf dem Zahn eine Ritzfurche mit beiderseitigen Splitterungszonen erzeugt. Je größer die Belastung ist, um so breiter ist die Splitterungszone. Im einzelnen ändert sich die Splitterung je nach der Ritzrichtung. Das Innere der Ritzfurchen machte den Eindruck, als ob das Material „herausgepflügt" worden

wäre. Als feines Pulver war es zu beiden Seiten des Ritzes oder auch innerhalb des Ritzes selbst aufzufinden und konnte mit einer feinen Bürste entfernt werden. Der Abstand der beiden Ränder der Ritzfurche ist die zu messende Ritzbreite. Selbstverständlich mußte der Schärfe der Ränder die größte Aufmerksamkeit geschenkt werden. Ebenso mußte auf einen gleichmäßigen Verlauf der Ritze geachtet werden, was bei der Porosität des Materials nicht immer leicht war. Durch vorsichtiges Aufsetzen des Diamanten und mäßige Ritzgeschwindigkeit wurde eine gleichmäßige Breite der Ritze erzielt (Abb. 3a, Ritze im Dentin).

(In Abb. 3b ist die Schmelz-Dentingrenze dargestellt. Wir sehen deutlich den Übergang der Ritze vom Schmelz in das Dentin. Im Dentin werden die Ritze erheblich breiter. Die Schnittpunkte liegen im Schmelz.) Bei zu geringer Belastung wie auch bei zu großer Ritzgeschwindigkeit fing der Diamant häufig an zu hüpfen, wodurch die Ritze unterbrochen wurden und in ihrem Aussehen punktierten Linien glichen. Wurde bei größeren Belastungen der Diamant nicht sorgfältig aufgesetzt, dann geriet die Spitze in leichte Schwingungen, wodurch die Ritze bald breiter, bald schmaler wurden.

Ritze mit den oben erwähnten Fehlern waren von der Messung wegen zu großer Ungenauigkeiten auszuschließen. Wir haben im allgemeinen beim Ritzen mit einem Meßfehler von $\pm$ 2 μ zu rechnen.

Da es sich bei den Zähnen um undurchsichtiges Material handelte, wurden die Ritze im auffallenden Lichte beobachtet und gemessen. Der Vertikalilluminator wirft den Lichtstrahl, der seitlich durch eine kleine Öffnung fällt und durch ein Glasplättchen nach unten abgelenkt wird, direkt auf das Objekt. Als Okular diente mir ein Okularschraubenmikrometer mit 10facher Vergrößerung der Firma Zeiß, Jena; als Objektiv benutzte ich ein Objektiv 45×. Im Gesichtsfeld befindet sich eine Skala. Innerhalb dieser Skala ist ein bewegliches Fadenkreuz angebracht, das sich von einem Rand der Ritzfurche zum anderen Rand derselben mittels einer drehbaren Trommel verschieben läßt. Diese Trommel ist in 50 Teilstriche eingeteilt.

Um nun die Breite eines Ritzes festzustellen, stellt man das Fadenkreuz auf den einen Rand des Ritzes ein und liest auf der Trommel die Einstellung ab. Dann schiebt man das Fadenkreuz auf

den anderen Rand des Ritzes und liest erneut auf der Trommel ab. Die Differenz der beiden Zahlen gibt die Breite des Ritzes an. Auf einer Testplatte habe ich vorher festgestellt, daß 55 Teilstriche der Trommel 10 μ entsprechen.

Das Dentin stellt die Hauptmasse des Zahnes dar. Es setzt sich zusammen aus etwa 72% anorganischem Material und 28% organischer Substanz. Anders ist es beim Schmelz. Hier beträgt die organische Masse nur 2—4%. Diesem geringen Gehalt an organischem Material verdankt der Schmelz auch seine Härte und Sprödigkeit.

Die anorganische Substanz besteht in der Hauptsache aus Apatitkristallen. Vergleichen wir eine Dentinanalyse von der Formel

$$Ca \left\{ \begin{matrix} Ca\,PO_4 \\ Ca \\ Ca\,PO_4 \end{matrix} \right\} CO_3 + \text{organ. Substanz}$$

mit derjenigen des Apatits $CaF\,Ca_4(PO_4)_3$ oder $CaClCa_4(PO_4)_3$, so finden wir eine große Übereinstimmung. Der Apatit ist es auch, der für die Härte der Zähne ausschlaggebend ist. Nach der Mohs'schen Härteskala hat Apatit den Härtegrad 5. Groß schreibt: „Daß es sich bei Knochen und Zähnen um Apatitsubstanz handelt, wurde bereits früher vermutet. Daß wirklich die Kristallart Apatit vorliegt, war bis jetzt nicht bewiesen, aber die Zweckmäßigkeit, die für Knochen und Zähne aus den Apatiteigenschaften hervorgeht, ist so in die Augen springend, daß bei der Durchsicht des Mineralreiches keine bessere Wahl getroffen werden könnte. Die Härte 5 des Apatits hält die Mitte zwischen der Splitterigkeit des Quarzes und der Verletzbarkeit des Kalkspates, den schon seine Spaltbarkeit für stärkere mechanische Beanspruchung ungeeignet macht." Groß konnte auf röntgenographischem Wege mit Hilfe von Debye-Scherrer-Diagrammen den Nachweis erbringen, daß die anorganischen Bestandteile in Apatitform vorliegen. Klement und Trömel gelang es 1932 als Hauptbestandteil der anorganischen Zahnsubstanzen Hydroxylapatit nachzuweisen.

Bevor ich nun die Härte von Zähnen prüfte, ritzte ich Apatit. Die Diamantspitze verursachte hier eine deutlich sichtbare Rinne, die zu beiden Seiten eine starke Splitterungszone von muscheligem

Gepräge aufwies (Abb. 4). Teilweise waren die Ränder der Ritzfurchen sogar von diesen losgesprengten Kristallpartikelchen überdeckt, wodurch die Messung sehr erschwert, wenn nicht unmöglich gemacht wurde. Um auf Apatit eine Ritzfurche mit der Breite von 10 μ zu erreichen, benötigte ich eine Belastung von 36 gr.

Wie steht es nun mit dem Dentin und dem Schmelz der Zähne? Wir stoßen hier auf eine Schwierigkeit, die der Apatit nicht darbot. Während beim Apatit die Härteverhältnisse infolge des in allen Teilen gleichmäßigen Aufbaues übersichtlich sind, werden beim Zahn die Verhältnisse dadurch unübersichtlicher (schwieriger), daß mehrere Faktoren, die sich an den einzelnen Stellen des Zahnes verschieden stark auswirken, die Härte bedingen. Maßgebend sind neben dem Gehalt an Apatitkristalliten auch die vorhandene Menge organischer Substanz und der Feuchtigkeitsgehalt. Um also einigermaßen brauchbare Vergleichswerte zu erhalten, müssen wir bei unseren Untersuchungen verschiedener Zähne immer nur kleinere einander entsprechende Bezirke herausgreifen. In der Nähe der Pulpa ist das Dentin am wenigsten hart. Dann folgt das Dentin an den Rändern der Wurzel, während das Dentin der Schmelzdentingrenze die größten Härtegrade aufweist. Der Schmelz ist in tieferen Schichten weicher als an der Oberfläche. In folgender Tabelle sind die Resultate, wie wir sie am Ende unserer Prüfungen an menschlichen Zähnen vorfanden, zusammengestellt.

Tabelle I.

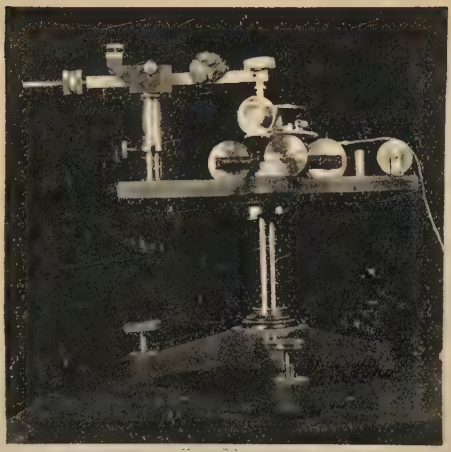
	Zahn	Alter	Geschlecht	Grund der Extraktion	Gewicht in gr. bei 10 μ Breite im Dentin	im Schmelz
1.	4	15 J.	w.	verlagert	8	—
2.	8	25 J.	m.	verlagert	10,5	30
3.	3	30 J.	m.	?	10,9	—
4.	5	40 J.	w.	Fokal-Infektion	11,7	35
5.	4	52 J.	m.	abgekaut	12	—
6.	1	57 J.	w.	Paradentose	14	45
7.	3	48 J.	w.	starke Karies	9,5	25

Sämtliche Zähne wurden in Richtung der Längsachse geritzt. Die angegebenen Werte stellen Mittelwerte dar.

Aus diesen Werten wie auch aus allen anderen untersuchten Fällen geht deutlich hervor, wie mit wachsendem Alter die Härte des Dentins zunimmt. Dieses Härterwerden des Zahnbeins kann man sich aus der verminderten Blutzufuhr der Hartgewebe erklären. Mit zunehmendem Alter der Pulpa tritt als Folge der verminderten Blutzufuhr eine zunehmende Verkalkung des Dentins ein. Das Zahnbein steht hier in Analogie zum Knochen. So wird z. B. bei Osteosklerose das Knochengewebe in Folge verminderter Blutzufuhr härter und spröder.

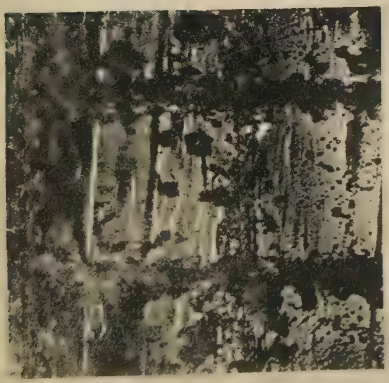
Ferner hatten wir bei unseren Untersuchungen bei allen Paradentosefällen sowohl im Dentin als auch im Schmelz eine gewaltige Härtezunahme zu verzeichnen. Die Paradentose ist nicht nur eine lokale Erkrankung des Zahnsystems, sondern es handelt sich bei ihr um das Symptom einer Stoffwechselstörung. Zuweilen findet sich bei Paradentose eine Hypercalcämie. Guido Fischer schreibt:

Abbild. 3 a

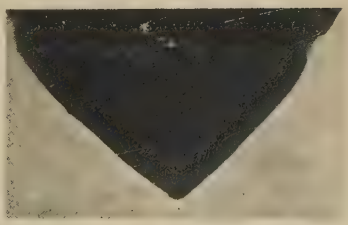


Abbild. 1

Abbild. 3 b



Abbild. 4



Abbild. 2

„Pulpa und Dentin werden zum Spiegelbild eines langen, im Stoffwechselgetriebe aktiv tätigen Gewebes, das je nach konstitutioneller Anlage und örtlicher Beeinflussung bei den einzelnen Menschen immer wieder verschieden sein wird und sein muß."

Bei einer Patientin, die seit 15 Jahren an Schüttellähmung erkrankt ist und seit 10 Jahren unter dem Einfluß von Skopolamin und seit einem halben Jahr unter dem Einfluß von Atropin steht, zeigten sämtliche Zähne starke Neigung zu Karies und mußten daher extrahiert werden. Die Zähne erwiesen sich als außerordentlich weich. Um im Dentin eine Ritzbreite von 10 μ zu erreichen, genügte ein Gewicht von nur 9,5 gr, im Schmelz genügte ein Gewicht von 20 gr. Es läßt sich vermuten, daß einerseits durch nervöse Störungen, andererseits durch die Giftwirkung des Skopolamins und Atropins der Calcium-Phosphat-Stoffwechsel gestört wurde, und eine Erhaltung des Normalzustandes der Zahnhartsubstanzen nicht möglich war.

In folgenden Tierversuchen sollte der Einfluß verschiedener Nahrung und Umwelt auf die Härte der Zähne festgestellt werden. Für das Zahnsystem spielt die Ernährung eine große Rolle. Ein gesunder kräftiger Zahn kann sich nur dann bilden, wenn der Kalkstoffwechsel unter dem Schutze gesunder, hormonaler Funktionen steht, die wiederum abhängig sind von einer zweckmäßigen Ernährung. In Verfolg der polarisationsoptischen Analysen von Proell schienen auch uns am geeignetsten für diese Versuche die immer nachwachsenden Schneidezähne der Nagetiere. Sie sind sozusagen ein Spiegelbild des jeweiligen Stoffwechsels, besonders des Kalkstoffwechsels.

Zu unseren ersten Ritzhärteprüfungen stellte mir Prof. Proell aus seinen laufenden Versuchen die Zähne von Ratten zur Verfügung, die mit verschiedenen Brotarten, mit Bircher-Benner-Brot und mit Semmeln gefüttert waren. Während die Bircher-Benner-Brot-Ratten gut gediehen und ständig an Gewicht zunahmen, blieben die Semmelratten in Wachstum und Gewicht zurück. Wie wir aus Tabelle II ersehen, brauchten wir bei normal ernährten Ratten zur Erlangung eines 10 μ breiten Ritzes im Dentin eine Belastung von 5,1 gr, bei Bircher-Benner-Brot-Ratten eine Belastung von 5,3 gr und bei den Semmelratten eine Belastung von 5 gr.

Während durch Bircher-Bennerbrot die Dentinhärte erhöht wird, wird sie durch Semmelkost herabgesetzt. Es läßt sich vermuten, daß hier der verschiedene Gehalt an Mineralsalzen eine Rolle spielt. Die Härte des Brotes kann für die gefundenen Unterschiede nicht entscheidend sein, da alle Tiere einen Teil der Kost in getrocknetem hartem Zustande erhielten.

In einem weiteren Versuch gab ich Meerschweinchen C-vitaminarme Kost.

Die Ernährung ist die Hauptquelle für die Vitamine, die wieder einen Einfluß auf das Hormonalsystem ausüben. „Die Vitamine sind mit den Hormonen genetisch, synergetisch und antagonistisch auf das innigste verknüpft." (Kühnau und Stepp.) Bei Fehlen eines Vitamins in der Kost kommt es zwangsläufig zu Insuffizienzsymptomen, zu Mangelkrankheiten. Als schwerste Form der Avitaminosen und Ernährungsschäden gilt der Skorbut, der auf Vitamin C-Mangel beruht. Wir wählten für unsere Skorbut-Versuche Meerschweinchen, da Ratten hierfür ungeeignet sind. Die Tiere wurden nach Mc.Collum mit gestampftem Hafer und 50 ccm saurer Milch pro die ernährt. Um den Tod der Tiere hinauszuschieben, wurden die ersten 3 Wochen lang jeden 4. Tag 2 ccm Tomate pro Tier gegeben, dann erhielten die Tiere keine Tomaten mehr. Die ersten 4 Wochen fraßen die Tiere gut, besonders gierig stürzten sie sich auf die Tomatenstückchen. Nach 3 Wochen stellte sich starker Haarausfall ein, das Fell wurde struppig, die Tiere waren stark erregt und nervös. In der 5. Woche wurden die Tiere apathisch, litten an Appetitlosigkeit, wurden unsicher im Gang, zogen die Hinterbeine nach. Während die Tiere in den ersten 4 Wochen gut an Gewicht zunahmen, stellte sich in der 5. Woche ein rapider Gewichtsverlust ein. Die Tiere entkräfteten immer mehr und gingen schließlich zu Grunde. Siehe Gewichtstabelle III.

Bei der Sektion ergaben sich Hämorrhagien in den serösen Häuten und Entzündungen an den Mundschleimhäuten[1]).

1) Die Sektion wurde vorgenommen im Tiergesundheitsamt der Landesbauernschaft Rheinland Bonn am 31. 3. 38.

Tabelle IV

Tier Nr.	gestorben	Gewicht in gr bei 10 μ Ritzbreite Dentin	Schmelz	Bemerkungen	
1115	13. 5.	5,1	14	Kost normal	
1120	21. 3.	4,6	10,8	6 Wochen nach Beginn der Kost +	(3 Wochen lang gemischte Kost und 3 Wochen reine Skorbutkost)
1119	27. 3.	4,4	10	7 Wochen nach Beginn der Kost +	(3 Wochen gemischte Kost und 4 Wochen reine Skorbutkost)
1118	9. 5.	4,1		13 Wochen nach Beginn der Kost +	(8 Wochen gemischte Kost und 5 Wochen reine Skorbutkost)

Aus dieser Tabelle ersehen wir, wie die Härte der Zähne mit der längeren Dauer der Skorbutkost abnimmt.

Das Dentin wird von den Odontoblasten und Kapillaren der Pulpa angelegt, aufgebaut und erhalten. Bei Skorbut kommt es zu zunehmenden Störungen im Gewebsaufbau. Die Odontoblasten gehen zugrunde, ebenso nehmen die Pulpakapillaren an den Ernährungsstörungen teil. In histologischen Schnitten sahen wir stark aufgelokkerte und gelichtete Odontoblasten. Die Pulpa war überall stark hyperämisch. — Der Stoffwechsel im Zahn ist gestört, es kommt zu einem zunehmenden Kalkabbau, wodurch der Aufbau des Dentins wie auch der des Schmelzes immer mangelhafter wird. Nur so kann man sich das Weichwerden der Zahnhartsubstanzen bei Skorbut erklären.

Um nun den Einfluß der Umwelt auf die Hartgewebe des Zahnes kennenzulernen, untersuchte ich das Dentin von Wild- und Stallkaninchen. Bei Stallkaninchen genügte durchweg eine Belastung von 4,3 gr, um eine Ritzbreite von 10 μ hervorzurufen, während bei Wildkaninchen 4,8 gr angewandt werden mußten.

Aus all diesen Härteprüfungen geht hervor, welchen Einfluß Kost, Umwelt, Alter und Krankheiten auf die Zahnhartgewebe haben. Durch unsachgemäße, falsche Kost, Stoffwechselkrankheiten und Domestikation wird die Härte des Zahnes vermindert, während sie durch richtige, vernünftige Ernährung und gesunde Lebensweise erhöht wird. Wir können annehmen, daß als Folge dieses Härterwerdens der Zahnhartsubstanzen eine Erhöhung der Kariesresistenz eintritt. So finden wir z. B. die Karies häufiger im jugendlichen Alter als später. Selten finden wir Karies und Pyorrhoe in demselben Munde. Wie die Erfahrungen im Gansertal ergaben, kann ein Volk mit bisher gesundem Gebiß durch Änderung seiner Ernährung, d. h. Übergang in die Zivilisation des modernen Europa in Kürze seine Kariesresistenz verlieren (Proell: Klima und Zivilisation in ihrer Auswirkung auf Körper und Zähne). Proell schreibt: „Der Zahnzerfall eines Volkes entspricht im allgemeinen dem Grade seiner Naturentfremdung. Schon eine geringe Abkehr vom naturgemäßen Leben, z. B. das Seßhaftwerden von Nomaden, mehr noch eine fehlende Auslese mindern die Widerstandskraft der harten Zahnsubstanzen."

Zuletzt habe ich Zähne von einigen Haustieren, von Pferden und Schweinen untersucht. Das Pferd gilt als Vertreter einer kariesarmen Tiergattung, während wir beim Hausschwein die Karies häufiger vorfinden.

Tabelle V

Tier	Alter	Gewicht in gr bei 10 μ Breite	
		Dentin	Schmelz
Pferd	$2^1/_2$ J.	8	24
Pferd	10 J.	10	32
Schwein	jung	7	20

Tabelle V zeigt den deutlichen Unterschied in der Härte von Pferde- und Schweinezähnen.

Wie verhalten sich nun die Ritze in Schmelz und Dentin, wenn wir sie in verschiedenen Richtungen legen? Wenden wir uns zunächst einmal wieder den Mineralien zu. Hier machen wir überall dieselbe Erfahrung, daß auf derselben Kristallfläche öfter verschiedene Härtegrade auftreten, je nach der Richtung des Ritzes. Das Auftreten verschiedener Härtegrade auf den Kristallflächen steht in engstem Zusammenhang mit der Spaltbarkeit der Kristalle. Nach Tschermak-Becke:

„1. Härteunterschiede kommen bloß an solchen Kristallen vor, welche eine Spaltbarkeit besitzen. An diesen zeigen jene Flächen, welche der Spaltbarkeit parallel sind die geringste, und jene Flächen, welche zur Spaltbarkeit senkrecht sind, die größte Härte.

2. Ist eine Fläche zur Spaltrichtung senkrecht, so zeigt diese Fläche parallel zur Spaltung die geringste, senkrecht zur

Spaltung die größte Härte. Diese beiden Sätze harmonieren damit, daß senkrecht zu der Spaltebene ein Minimum der Kohäsion existiert.

3. Ist eine Fläche schief zur Spaltebene, so ergibt sich sogar ein Unterschied der Härte auf derselben Linie, indem sich die größere Härte zeigt, wenn die Spitze sich von dem stumpfen Spaltungswinkel gegen den Scharfen zu bewegt (Richtung a c),

Aus Tschermak-Becke Fig. 355

die geringste Härte hingegen, wenn die Spitze sich von der scharfen Kante gegen die stumpfe zu bewegt (a b).

4. Werden beim Ritzen gleichzeitig mehrere Spaltrichtungen getroffen, so addieren sich die denselben entsprechenden Widerstände.
5. Ist eine Fläche parallel zur Spaltung und wird sie von gar keiner ferneren Spaltrichtung getroffen, so zeigt sich auf derselben kein Härteunterschied."

Diese Erfahrungen kann man praktisch verwerten, indem man eine Härtekurve konstruiert. Man trägt die Maßzahl des Gewichtes, das man zur Erlangung einer bestimmten Ritzbreite benötigt, auf einer Linie als Strecke ab. Diese Linien laufen alle strahlenförmig von einem Punkte aus. Verbindet man ihre Endpunkte miteinander, so erhält man eine Härtekurve. Findet man in allen Richtungen dieselbe Breite der Ritzfurchen, d. h. dieselben Härtegrade, und bestehen keine Unterschiede, so ergibt sich als Härtekurve ein Kreis. Besteht aber eine einzige zur Untersuchungsfläche senkrechte Spaltbarkeit, so ist die Härtekurve eine Ellipse. Sie ist eine gelappte Figur, wenn die Fläche von mehreren Spaltrichtungen getroffen wird. In Abb. 5 sehen wir eine Härtekurve auf Apatit.

Es handelt sich dabei um eine Fläche, die der c-Achse parallel läuft. Die Härtekurve läßt deutlich erkennen, daß die Spaltbarkeit des Kristalls in Richtung der c-Achse am größten ist, während sie senkrecht dazu am geringsten ist.

Da sich das Dentin der Zähne in seiner anorganischen Substanz zum größten Teil aus Apatitkristallen zusammensetzt, müssen wir auch hier ähnliche Eigenschaften betreffs der Spaltbarkeit vorfinden.

Interessant ist die Ansicht Burgs: „Der histologischen Struktur des Dentins kommt der Richtung nach kein wesentlicher Einfluß auf den Härtegrad zu. Dagegen ist die Strukturrichtung des Schmelzes von hoher Bedeutung für die Härte. Am härtesten ist die Ebene senkrecht zur Prismenrichtung und am geringsten parallel zu den Prismen."

Zieger schreibt: „Im Dentin lassen sich Zonen erkennen, die darauf hinweisen, daß entgegen der Ansicht von Burg u. Wetzel in der Längs- und Querrichtung des Zahnes Härteunterschiede bestehen, so daß es nicht gleichgültig ist, in welcher Richtung die Prüfung erfolgt."

Spielt überhaupt die Richtung, in welcher man die Zahnhartgewebe ritzt, eine Rolle? Abb. 6 dient zur Orientierung. Es handelt sich um einen menschlichen Zahn mit eingezogenen Längs- und Querritzen, d. h. Ritzen, die parallel der Zahnoberfläche verlaufen und senkrecht dazu.

In folgender Tabelle ist die Anzahl Teilstriche des Okularschraubenmikrometers der einzelnen Ritze dargestellt. Die Ritze 1-7 sind Längsritze, die Ritze 8-13 Querritze, d. h. sie liegen senkrecht zu den Ritzen 1-7. Die Punkte X_1, X_2 usw. sind die Kreuzungspunkte der Längs- und Querritze.

Tabelle VI

Belastung = 10 gr. Die Zahlen geben die Anzahl der Teilstriche des Okularschraubenmikrometers an.

Längsritze							Querritze					
Ritznummer 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		53,5					58	65		51,5	34	54
		56					56,5	X_2		39	55	41,5
		56,5					X_7	56,5		43	40,5	43
		61,5					65	55		X_4	X_5	X_6
	70,5	40		65			54	47		46,5	49,5	41,5
	51,5	56		68			60	X_8		44,5	36	41
X_2	57	59		67	69		X_{13}	48		44	53,5	41,5
52	52,5	55		44	60,5	65	61	47		X_{10}	X_{11}	X_{12}
57	56	79		44	63	52	X_{19}	48,5		44	33	45,5
X_3	X_7	X_{12}		57	62	60	55	X_{14}		44,5	50	42
57	55	75		X_{25}	40	62	58	49,5		46,5	36	43
X_4	X_8	X_{14}		55	X_{31}	60	X_{25}	X_{20}		X_{16}	X_{17}	X_{18}
54,5	X_9	X_{15}		60	47	X_{37}	55	48		42,5	32	43
X_5	37,5	49,5		X_{26}	X_{32}	64	50	X_{26}		42	X_{23}	X_{24}
52	X_{10}	X_{16}		X_{27}	48	X_{38}	57	52,5		X_{22}	23	50
	59	57,5		52,5	X_{33}	35	X_{31}	50		45,5	X_{29}	X_{30}
	X_{11}	X_{17}		X_{28}	56,6	X_{39}	52,5	49		X_{28}	27,5	47
	51	58		X_{29}	X_{34}	50,5	60	X_{32}		43	31,5	X_{36}
	X_{12}	X_{18}		46	X_{35}	X_{40}		34		46	35,5	48,5
	47	58,5		X_{30}	48,5	35		33		44	X_{35}	
	37	51		47	X_{36}	40		X_{38}		X_{34}	37	
	64			49	33	X_{41}		31,5		40	28	
				63	40	34				44,5	33	
				50	55					46,5		

Ist nur punktweise vorhanden.

Ist nur in dünnen Spuren vorhanden.

Nachfolgend sind einige Kreuzungspunkte herausgegriffen und ihre Werte auf den Längs- und Querritzen einander gegenübergestellt.

Tabelle VII

	L	Q	L : Q
X_4	57	43	5 : 4
X_5	54,5	40,5	5 : 4
X_8	55	47	5 : 4
X_{14}	75	48,5	7 : 4
X_{17}	57,5	36	14 : 9
X_{18}	58	43	5 : 4

Diese Werte sind in unmittelbarer Nähe der Kreuzungspunkte gemessen, jedoch nicht direkt neben und vor den Kreuzungspunkten, da die Querritze, die nach den Längsritzen gezogen wurden, hier unter dem Einfluß der Kreuzung kleine Veränderungen, nämlich eine Verbreiterung erleiden.

Die Spaltbarkeit des Dentins ist also in der Längsrichtung um ein Wesentliches größer als quer dazu. Da die Spaltbarkeit auch hier von der Lage der Kristalle und damit von der Richtung der c-Achse abhängt, müßten die Kristalle in der Richtung des geringsten Widerstandes liegen, d. h. etwa parallel der Schmelzdentingrenze, bzw. parallel der Zahnoberfläche. Ein genaueres Bild über die Kristallorientierung gab uns die polarisationsoptische Analyse. Durch sie wurden die Ergebnisse der Ritzmethode bestätigt (Abb. 7). Proell

weist darauf hin, daß die Richtung, in der eine Zahnkrone nach der Wurzel hin abbricht, von der Spaltbarkeit diktiert wird, d. h. in Richtung der c-Achsen erfolgt.

Im Schmelz kamen wir zu den gleichen Ergebnissen. Auch hier sind die Längsritze breiter als die Querritze. Die Kristallite müssen also ähnlich wie im Dentin parallel zur Oberfläche gerichtet sein (Abb. 7).

Bei den Paradentosezähnen haben wir meist eine Verschiebung zwischen Längs- und Querrichtung vorgefunden.

In folgender Tabelle handelt es sich um Kreuzungspunkte im Dentin eines paradentotischen Zahnes.

Tabelle VIII

	L	Q	L : Q
X_1	48	49	1 : 1
X_2	47	42,5	1 : 1
X_3	52,5	45,5	1 : 0,9
X_4	47,5	46,5	1 : 1
X_5	46,5	40,5	1 : 1
X_6	42	45	1 : 1

Es hat eine deutliche Desorientierung der Apatitkristalle in der organischen Grundsubstanz stattgefunden. Die c-Achsen der Kristalle sind nicht mehr so gleichmäßig gerichtet wie bei den Zähnen von Menschen, die nicht an Paradentose erkrankt sind. Außerdem habe ich, wie Abb. 7b darstellt, Ritze, die von links nach rechts und von

oben nach unten, also parallel der Längsachse des Zahnes, verlaufen, gezogen. Dabei konnte ich keinen wesentlichen Breitenunterschied der Ritze in den verschiedenen Richtungen feststellen. Wohl änderte sich die Breite mit der Pulpennähe, hier wurden die Ritze breiter; ein Beweis, daß auch der paradentotische Zahn im Innern weicher ist als an der Oberfläche.

Dann habe ich noch Querschliffe durch menschliche Zähne hergestellt und dieselben in den verschiedensten Richtungen geritzt (Abb. 7c). Auch hier ergab sich sowohl im Dentin als auch im Schmelz kein wesentlicher Unterschied in der Ritzbreite verschiedener Richtungen.

Diese Ergebnisse stimmen mit unseren anderen Resultaten überein, da diese Ritze ja senkrecht zur Zahnoberfläche verlaufen.

Wie steht es nun bei den Nagezähnen mit der Richtungshärte? Wegen der Kleinheit des Objektes war es nicht möglich, im Schmelz brauchbare Längs- und Querritze zu erhalten. Folgende Ergebnisse beziehen sich daher nur auf das Dentin. Auch hier finden wir wesentliche Unterschiede zwischen der Längs- und Querrichtung des Zahnes. Wir haben bei unseren Ratten- und Meerschweinchenzähnen Ritze, die in der Längsachse des Zahnes laufen, und Ritze senkrecht dazu gezogen (Abb. 8).

Die Längsritze sind wesentlich breiter als die Querritze. Die schraffierten Linien geben die tiefsten Stellen der Ritze an. Bemerkenswert ist, daß diese sich gerade innerhalb des Zahnbogens befinden. Hier laufen vermutlich die c-Achsen den Längsritzen parallel, während sich die Diamantspitze in den anderen Punkten von dem stumpfen Spaltungswinkel gegen den scharfen zu bewegt.

Abb. 9 zeigt uns die vermutliche Einordnung der Apatitkristalle in die organische Grundsubstanz. Aus der Zeichnung geht deutlich hervor, daß die Kristalle mit ihrer c-Achse parallel zur Zahnoberfläche verlaufen.

In der nächsten Tabelle sind einige Schnittpunkte herausgegriffen und ihre Werte in Längs- und Querrichtung einander gegenübergestellt.

Tabelle IX

	L	Q	L : Q
X_1	39,5	22,5	1,7 : 1
X_2	36,5	20	1,8 : 1
X_3	45,5	19	1,8 : 1
X_4	41,5	29,5	1,4 : 1
X_5	42,5	25	1,7 : 1
X_6	35	24,5	1,4 : 1

Bei den mit Bircher-Bennerbrot gefütterten Ratten ist das Verhältnis der Längsritze zu den Querritzen dasselbe geblieben. Man könnte hieraus annehmen, daß gegenüber der Normallagerung der Kristalle keine Änderung stattgefunden hat. Anders ist es bei den Semmelratten und den skorbutkranken Meerschweinchen. Abb. 10 stellt die Kristallagerung eines unteren Nagezahnes bei einer Semmelratte dar.

Während in dem labialen Bogen die Richtung der c-Achsen normal verläuft, sind im lingualen Bogen Störungen vorhanden. Die Diamantspitze trifft beim Ritzen verschiedene Spaltrichtungen. Die Längsritze werden bald breiter, bald schmaler. Das Okularschraubenmikrometer zeigt auf demselben Ritz Werte zwischen 73—81 Teilstrichen, bzw. Werte zwischen 50—55 Teilstrichen.

Noch anders liegen die Verhältnisse bei einem unteren Nagezahn eines an Skorbut erkrankten Meerschweinchens. Hier hat eine Desorientierung der Kristalle innerhalb des ganzen Zahnes stattgefunden, besonders in der Zahnspitze. Die Querritze sind hier breiter als die Längsritze.

Tab. X.

	L	Q	L : Q
X_3	43	48	0,6 : 1
X_4	49	44,5	1,1 : 1
X_5	46,5	53,5	0,8 : 1
X_7	41,5	40	1,0 : 1
X_8	45,5	47,5	0,8 : 1

Abb. 11 gibt uns die Kristallorientierung im Dentin eines Pferdezahnes wieder. Auch hier verlaufen die c-Achsen parallel der Zahnoberfläche.

Zum Schluß können wir wohl sagen, daß es uns gelungen ist, mit Hilfe des Ritzverfahrens nach Martens wichtige Aufschlüsse über die Härteveränderungen der Zahnhartgewebe zu erhalten. An den untersuchten menschlichen und tierischen Zähnen haben wir gesehen, wie dieselben durch Nahrung, Alter, Krankheiten und Umwelt beeinflußt werden.

Mit zunehmendem Alter und bei Paradentose wird der Zahn härter, während durch mangelhafte Ernährung, ungünstige Umgebung und gewisse Krankheiten seine Härte vermindert wird. Das Ritzverfahren ist aber nicht nur zur Untersuchung der Härte geeignet, sondern wir erhielten mit seiner Hilfe auch wichtige Aufschlüsse über den struktuellen Aufbau des Zahnes. Durch schädigende Einflüsse, Krankheiten, schlechte Ernährung und ungünstige Lebensbedingungen kommt es zu schweren Störungen in der Anordnung seiner anorganischen Bestandteile. Man darf wohl annehmen, daß die so in ihrem Aufbau und in ihrer Härte geschädigten Zähne in

ihrer Widerstandsfähigkeit geschwächt sind. Sie können äußeren schädigenden Momenten nicht die genügende Resistenz bieten und fallen der Karies anheim. Aus der Arbeit ist deutlich hervorgegangen, daß das Härteprüfverfahren mit dazu beiträgt, die tieferen Zusammenhänge zwischen Zahnzerfall und Körperkonstitution zu klären. Weitere Untersuchungen in dieser Richtung sollen folgen.

Meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. med. Proell danke ich für die freundliche Stellung des Themas und weitgehende Unterstützung. Außerdem danke ich Herrn Professor Dr. Chudoba (Direktor des Mineralogischen Instituts Bonn) für die Anregungen und Bemühungen, durch die die Untersuchungen gefördert sind.

Literaturverzeichnis.

Bauer: Über Veränderungen der Zähne und Kiefer bei experimentellem Skorbut. D. M. f. Z. 1931 H. 22 S. 1120.

Burg: Neue spezifische Härtebestimmungen der Hartsubstanzen des Zahnes. Diss. Halle 1921.

Braikhoff: Kauwerkzeuge bei Ratte und Maus. D. M. f. Z. 1927, H. 4.

Broderick: The importance of the differentiation of simple marginal gingivitis from commencing pyorrhoea. Brit. dent. J. 51, S. 783—792 (1930).

McCollum und N. Simmons: Neue Ernährungslehre. Verl. Urban u. Schwarzenberg 1928.

Driak: Über die Elastizität des Dentins. Phys. Unters. Zeitschr. f. Stom. h. 30, 1932.

Fischer, G.: Spezielle Biologie des Zahnsystems. Misch Fortschr. 1933.

Groß: Die kristalline Struktur von Dentin und Zahnschmelz. Festschr. Greifswald 1926.

Hirschwald: Handbuch der bautechnischen Gesteinsprüfung. Berlin 1912, S. 83—88.

Kranz: Innere Sekretion. Misch Fortschr. 1933.

Martens: Handbuch der Materialienkunde. 1898, Bd. 1, S. 234—239.

Proell: Klima und Zivilisation in ihrer Auswirkung auf Körper und Zähne. Berlin 1926.

— Studien über die harten Zahnsubstanzen. Festschr. Greifswald 1926.

Proell-Diener: Über den Feinbau gesunder und kranker Zähne (vorläuf. Mitteilung) Sonderabdr. aus Zeitschr. f. Zellforsch. u. mikroskopische Anatomie Bd. 19, H. 4.

Proell-Schubert: Die Ritzhärte des Zahnschmelzes. Zeitschr. f. Stom. 1928, H. 11.

Reis u. Zimmermann: Untersuchungen über die Härte fester Stoffe und ihre Beziehung zur chemischen Konstitution. Zeitschr. f. physik. Chemie.

— — Über Härte und Härteanisotropie. Zeitschr. f. Kristallogr.

Richter: Über die Ritzhärte und Kugeldruckhärte der harten Zahnsubstanzen. Zeitschr. f. Stom. 1931, H. 29.

Rinne: Elementare Anleitung zu kristallographisch-optischen Untersuchungen. Dr. Max Jänecke-Verl. Buchhandlung, Leipzig 1912.

Rosenbusch: Mikroskopische Physiographie der Mineralien und Gesteine. Bd. 2 S. 106/107. Stuttgart 1907.

Rott: Das Verhalten der Zahngewebe verschiedener Nagetiere bei Ernährungs- und Stoffwechselstörungen. Diss. Bonn 1937.

Rössle: Untersuchungen über Knochenhärte. Beitr. z. pathol. Anat. u. allgem. Pathol. Bd. 77 S. 174 ff. 1927.

Stepp-Kühnau-Schröder: Die Vatimine und ihre klinische Anwendung. Ferd. Enke-Verlag. Stuttgart 1937.

Stiller: Experimentelle Untersuchungen über das Wachstum der Nagetierzähne und seine funktionelle Abhängigkeit von der Art der Ernährung. Diss. Halle 1923.

Trömel-Klement: Hydroxylapatit, der Hauptbestandteil der anorganischen Knochen- u. Zahnsubstanz. Hoppe-Seilers Z. 213, S. 263—269, 1932.

Tschermak-Becke: Lehrbuch der Mineralogie 1921, Wien-Leipzig S. 149—168.

Wagner: Experimenteller Meerschweinchenskorbut mit verschiedenen Kostarten mit besonderer Berücksichtigung der Zahnbefunde. D.M.f.Z. 1932, H. 16, S. 721.

v. Wolff: Allgemeine Mineralogie. Verl. Quelle u. Meyer, Leipzig.

Zieger: Härtebestimmungen an Zähnen. Diss. Halle 1934.

Zilkens: Pathologische Histologie der Zähne. Misch Fortschr. 1933.

Karlström: zit. v. Zieger.

Memmler: Einführung in die moderne Technik der Materialprüfungen. (Sammlung Göschen) 1924 S. 21 und 117 ff.

LEBENSLAUF.

Am 23. April 1912 wurde ich, Johanna Born, als Tochter des Rektors Franz Born und seiner Frau Amalie, geb. Latour, zu Gelsenkirchen geboren. Fünf Jahre besuchte ich die Volkschule in Gelsenkirchen-Bismarck, von Ostern 1923 bis Ostern 1933 das Städtische Lyzeum und Studienanstalt in Gelsenkirchen. Ostern 1933 bestand ich die Reifeprüfung. Anschließend widmete ich mich dem Studium der Zahnheilkunde. Die ersten drei Semester studierte ich in Freiburg, wo ich Herbst 1934 das Physikum bestand. Anschließend verbrachte ich die vier klinischen Semester in Bonn, wo ich am 31. Oktober 1936 das Staatsexamen bestand. Seitdem bin ich an der Universitäts-Zahn-, Mund- und Kieferklinik Bonn als Assistentin tätig.